

Original document

Optical measuring method for object velocity and/or distance uses Sagnac-interferometer with time offset propagation of partial beams along measuring path

Patent number: DE10025395
Publication date: 2002-01-17
Inventor: KEMMLER MANFRED (DE)
Applicant: LITEF GMBH (DE)
Classification:
- international: **G01B9/02; G01C19/72; G01P3/36; G01B9/02; G01C19/72; G01P3/36;**
(IPC1-7): G01J9/02; G01B9/02; G01C19/72; G01P3/36
- european:
Application number: DE20001025395 20000523
Priority number(s): DE20001025395 20000523

View [INPADOC patent family](#)

[Report a data error here](#)

Abstract of **DE10025395**

The optical measuring method has a light beam divided into 2 partial beams (L1,L2) fed in opposite directions through a coil (6) of an optical fibre Sagnac-interferometer (30), for propagation along a variable measuring path between the interferometer and the measured object (25) with a relative time offset, with evaluation of the resulting interference signal provided by a detector (9) for providing the absolute distance and/or relative velocity of the object. An Independent claim for an optical measuring device for a velocity and/or distance is also included.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

Description of **DE10025395**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur optischen Messung insbesondere eines Abstandes und/oder einer Geschwindigkeit.

Vorrichtungen zur optischen Abstandsmessung sind in unterschiedlichen Ausführungsformen bekannt. Beispielsweise wird bei einer optischen interferometrischen Längenmessung ein von einer Lichtquelle ausgehender Strahl in zwei Strahlanteile aufgespalten, wobei der erste Strahlanteil eine Referenzstrecke der andere Strahlanteil einen zu messenden Abstand durchläuft. Anschliessend werden beide Strahlanteile wieder zusammengeführt und zur Interferenz gebracht. Das interferierende Licht beaufschlagt einen Detektor, der die Interferenzen erfasst, in geeignete Messsignale umsetzt und diese einer Auswertungseinheit zuführt.



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Patentschrift
10 DE 100 25 395 C 1

51 Int. Cl. 7:
G 01 J 9/02
G 01 B 9/02
G 01 P 3/36
G 01 C 19/72

21 Aktenzeichen: 100 25 395.4-52
22 Anmeldetag: 23. 5. 2000
43 Offenlegungstag: -
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 17. 1. 2002

DE 100 25 395 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Litef GmbH, 79115 Freiburg, DE

74 Vertreter:
Müller - Hoffmann & Partner Patentanwälte, 81667
München

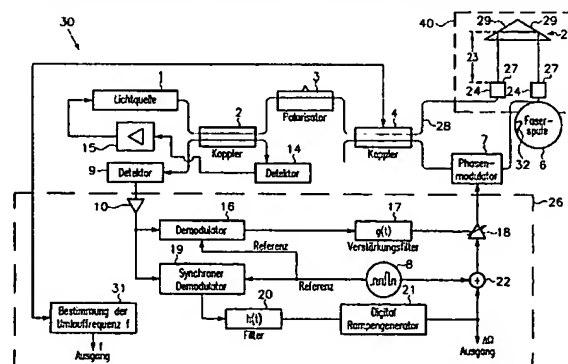
72 Erfinder:
Kemmler, Manfred, Dipl.-Phys., 79279 Vörsstetten,
DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 197 48 909 C1
DE 196 38 203 A1
DE 6 91 22 524 T2

54 Verfahren und Vorrichtung zur optischen Messung einer Differenzgeschwindigkeit und/oder eines Abstandes

57 Das Verfahren sowie die Vorrichtung zur optischen Messung insbesondere von Differenzgeschwindigkeiten bzw. eines Abstandes (23) nutzen ein faseroptisches Sagnac-Interferometer (30) vorzugsweise mit geschlossener Regelschleife, bei dem ein fester Lichtweganteil, den das Licht von der Lichtquelle (1) bis zum Detektor (9) zurücklegt, um einen zusätzlichen, variablen Lichtweganteil (40), bestehend aus einer Messstrecke, verlängert wird, die durch den doppelten Abstand (23) zwischen einem sich relativ zum Interferometer (30) ruhenden oder bewegendes Messobjekt (25) gebildet ist. Der variable Lichtweganteil ist derart in den festen Lichtweganteil des Sagnac-Interferometers (30) integriert, dass gegenläufige Teilstrahlen (L1, L2), welche an einem Strahlteiler (4) unmittelbar vor einer Faserspule (6) erzeugt werden, den variablen Lichtweganteil jeweils zu unterschiedlichen Zeiten durchlaufen. Die Ermittlung des absoluten Abstandes (23) erfolgt vorzugsweise durch Frequenznachführung der Lichtdurchlaufzeit des Sagnac-Interferometers (30), die Ermittlung der Differenzgeschwindigkeit und der Änderung des absoluten Abstandes (23) durch Auswertung eines Interferenzsignals am Detektor (9). Gegenüber bekannten optischen Distanz- oder Differenzgeschwindigkeitsverfahren hat die Erfindung den Vorteil, dass die möglichen Messverfahren mit hoher Genauigkeit mittels einer einzigen Vorrichtung durchgeführt werden können.



DE 100 25 395 C 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur optischen Messung insbesondere eines Abstandes und/oder einer Geschwindigkeit.

[0002] Vorrichtungen zur optischen Abstandsmessung sind in unterschiedlichen Ausführungsformen bekannt. Beispielsweise wird bei einer optischen interferometrischen Längenmessung ein von einer Lichtquelle ausgehender Strahl in zwei Strahlanteile aufgespalten, wobei der erste Strahlanteil eine Referenzstrecke, der andere Strahlanteil einen zu messenden Abstand durchläuft. Anschließend werden beide Strahlanteile wieder zusammengeführt und zur Interferenz gebracht. Das interferierende Licht beaufschlagt einen Detektor, der die Interferenzen erfasst, in geeignete Messsignale umsetzt und diese einer Auswerteeinheit zuführt.

[0003] Da die Interferenz der beiden Strahlanteile eine Periodizität von $\lambda/2$ aufweist (λ = Wellenlänge des verwendeten Lichts), kann aus dem durch den Detektor gewonnenen Interferenzbild nicht unmittelbar auf den gemessenen Abstand geschlossen werden. Das Interferenzbild liefert nur Information bezüglich des momentanen Phasenunterschieds, den die beiden interferierenden Strahlanteile aufweisen. Der Abstand ergibt sich nur dann richtig, wenn die Messung des Abstandes von einer hinsichtlich ihrer örtlichen Position genau bekannten Nullmarke gestartet wird, und die Interferenzperioden, die bei Erhöhung des Abstandes am Detektor durchlaufen werden, gezählt und gespeichert werden. Dieses Verfahren der Abstandsmessung kann als inkrementelle Methode bezeichnet werden.

[0004] Ist es aufgrund großer zu messender Abstände nicht möglich, obig beschriebenes Messverfahren anzuwenden, so kann man das Problem unter Verwendung mehrerer Lichtquellen, die kohärentes Licht mit jeweils unterschiedlichen Wellenlängen aussenden, umgehen. Damit ist es möglich, die durch die Periodizität der Interferenz bedingte Mehrdeutigkeit aufzuheben und eine eindeutige Zuordnung bestimmter Interferenzen zu den entsprechenden Zeitpunkten, an denen das Licht ausgesendet wurde, zu treffen, wodurch man auf den durchlaufenen Abstand schließen kann.

[0005] Ein anderes Verfahren zur optischen Messung, insbesondere großer Abstände, ist die Messung über die Lichtlaufzeit. Dazu wird von einer Messvorrichtung ein Lichtimpuls ausgesendet, der einen Abstand zwischen der Messvorrichtung und einem Messobjekt durchläuft, vom Messobjekt reflektiert wird, den Abstand ein weiteres Mal durchläuft und anschließend von einem an der Messvorrichtung angebrachten Rezeptorelement wieder aufgenommen wird. Aus der Laufzeit des Lichtimpulses lässt sich unmittelbar auf den zurückgelegten Abstand schließen.

[0006] Da Geschwindigkeitsmessungen in der Regel auf mehreren, sukzessiven Abstandsmessungen beruhen, wäre es prinzipiell möglich, obig beschriebene Verfahren oder Einrichtungen zur Messung von Abständen auch zur Messung von Differenzgeschwindigkeiten eines Messobjektes heranzuziehen. Dabei ergeben sich jedoch folgende Schwierigkeiten:

Verwendet man die inkrementelle Methode, so muss das Messobjekt, dessen Geschwindigkeit gemessen werden soll, an einer Nullmarke starten, um von dieser aus die Interferenzen zählen zu können. Die Messung der Differenzgeschwindigkeit eines bereits von der Nullmarke entfernten Messobjektes ist somit nicht möglich. Umgeht man diesen Nachteil, indem man mehrere Lichtquellen verwendet, die jeweils kohärentes Licht unterschiedlicher Wellenlänge aussenden, so hat man den notwendigen Aufwand mehrerer Lichtquellen zu berücksichtigen. Verwendet man an Stelle

eines interferometrischen Verfahrens eine Methode, die auf Ermittlung der Lichtlaufzeit von Lichtimpulsen beruht, so ergibt sich eine relativ geringe Messgenauigkeit, da die Lichtimpulse eine gewisse räumliche Ausdehnung haben, was eine genaue Messung der Lichtlaufzeit nicht zulässt.

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, mit welchen sich Geschwindigkeitsmessungen eines entfernten Messobjektes sowohl mit sehr hoher Messgenauigkeit als auch auf möglichst einfache Art und Weise durchführen lassen und welche gleichzeitig als Basis für Abstandsmessungen verwendbar sind.

[0008] Die Erfindung ist bei einem Verfahren zur optischen Messung insbesondere eines Abstandes und/oder einer Geschwindigkeit eines Messobjektes erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass zwei durch Teilung eines Lichtstrahls erzeugte Teilstrahlen, die gegenläufig eine Faserspule eines faseroptischen Sagnac-Interferometers durchsetzen, zeitversetzt über eine gegebenenfalls zeitlich variable Messstrecke geführt werden, die aus einem Hin- und Rückweg zwischen einem Referenzpunkt des Sagnac-Interferometers und dem Messobjekt besteht, wobei die bei zeitlicher Änderung der Messstrecke entstehende entsprechende Phasenverschiebung beider Teilstrahlen gegeneinander nach Wiedervereinigung und Interferenz beider Teilstrahlen durch eine Auswerteeinheit des Interferometers gemessen und daraus eine Änderungsgeschwindigkeit der Messstrecke, die einer Differenzgeschwindigkeit entspricht, errechnet wird, und/oder wobei die Laufzeit, die die Teilstrahlen zum Zurücklegen der Messstrecke benötigen, gemessen und darauf basierend mittels der Auswerteeinheit die momentane Größe der Messstrecke, die einem Absolut-Abstand entspricht, ermittelt wird.

[0009] Eine Vorrichtung zur optischen Messung insbesondere eines Abstandes und/ oder einer Geschwindigkeit ist erfindungsgemäß gekennzeichnet durch ein faseroptisches Sagnac-Interferometer, bei dem in den eine Faserspule, einen Phasenmodulator und einen Strahlteiler umfassenden Teil eine den zu messenden Abstand repräsentierende Messstrecke als Teil des Weges integriert ist, den das Licht, ausgehend von einer Lichtquelle, ab dem ersten Durchgang durch den Strahlteiler bis zum zweiten Durchgang durch den Strahlteiler zurücklegt, wobei die Messstrecke im durch die gegenläufigen, vom Strahlteiler ausgehenden Teilstrahlen bestimmten Lichtweg derart örtlich positioniert ist, dass die gegenläufigen Teilstrahlen die Messstrecke zu unterschiedlichen Zeiten durchlaufen, und die Messstrecke durch den doppelten Abstand zwischen einem sich relativ zu einem Referenzpunkt des Sagnac-Interferometers ruhenden oder sich bewegenden Messobjekt und dem Referenzpunkt des Sagnac-Interferometers gebildet ist, und mit einer Auswerteeinheit, die die Phasenverschiebung der beiden Teilstrahlen gegeneinander und/oder die zum Zurücklegen der Messstrecke benötigte Laufzeit der Teilstrahlen misst und darauf basierend die Änderungsgeschwindigkeit der Messstrecke und/oder die momentane Größe der Messstrecke bestimmt.

[0010] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfindungsgedankens sind in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert und/oder sind in jeweils abhängigen Patentansprüchen definiert.

[0011] Die Erfindung und vorteilhafte Einzelheiten werden nachfolgend unter Bezug auf die Zeichnung in beispielsweise Ausführungsform näher erläutert.

[0012] Es zeigen:

[0013] Fig. 1 den prinzipiellen Aufbau eines faseroptischen Sagnac-Interferometers in Closed-Loop-Aufbau mit digitaler Rückstellung, bei dem erfindungsgemäß eine

Messstrecke in einen durch gegenläufige, von einem Strahlteiler ausgehenden Teilstrahlen bestimmten Lichtweg integriert ist;

[0014] Fig. 2 eine Prinzipskizze einer Messstrecke mit Messobjekt zur Erläuterung des Funktionsprinzips der Erfindung;

[0015] Fig. 3 eine schematische Darstellung einer drehratenunempfindlichen Spule mit bifilarer Wicklung.

[0016] Sagnac-Interferometer sind an sich bekannt. In DE 197 48 909 C1 ist beispielsweise ein Sagnac-Interferometer beschrieben, bei dem Störungen aufgrund von Nullpunktfehlern auf ein Minimum reduziert werden. DE 196 38 203 A1 zeigt einen optischen Sensor, mit dem Rotationsbewegungen festgestellt werden können. In DE 691 22 524 T2 ist eine Interferenz-Messvorrichtung offenbart, die eine schnelle Durchführung einer Interferenzstrahl-Auswertung ermöglicht. Zum besseren Verständnis soll hier nur kurz unter Bezug auf die Zeichnungen anhand eines Ausführungsbeispiels auf deren prinzipielle Funktionsweise eingegangen werden.

[0017] Fig. 1 veranschaulicht den typischen bekannten Aufbau eines Sagnac-Interferometers 30 in Closed-Loop-Anordnung. Das Licht einer hinsichtlich Intensität und Wellenlänge stabilisierten Lichtquelle 1, insbesondere einer Superlumineszenzdiode (SLD) gelangt über eine Faserstrecke auf einen ersten Strahlteiler 2, von dort über einen Polarisator 3 auf einen zweiten Strahlteiler, den Hauptstrahlteiler 4. Von den beiden der Lichtquelle 1 abgewandten Aus-/Eingängen gelangen die durch Strahlteilung entstandenen Teilstrahlen auf die beiden Ein-/Ausgänge einer Faserspule 6, wobei zwischen den Aus-/Eingängen des Hauptstrahlteilers 4 bzw. den Ein-/Ausgängen der Faserspule 6 ein Phasenmodulator 7 angeordnet ist. Die im Hauptstrahlteiler 4 nach Durchlaufen der Faserspule 6 interferierenden Teilstrahlen durchlaufen wiederum den Polarisator 3 und werden über den ersten Strahlteiler 2 zu einem möglichst großen (halben) Anteil auf einen Photodetektor 9 geleitet. Das Ausgangssignal des Detektors 9 wird zunächst durch einen Verstärker 10 angehoben und beaufschlagt einen Demodulator 16 einerseits und einen Synchrondemodulator 19 andererseits. Der Demodulator 16 bildet zusammen mit einem Verstärkungsfilter 17 eine Skalenfaktorregelstrecke. Der Synchrondemodulator 19 steuert über einen Filter 20 einen Rampengenerator 21 an, der zur Erzeugung eines Rückstellsignals dient. Das durch den Modulationsoszillator 8 erzeugte Signal zum Verschieben des Arbeitspunktes in den Punkt höchster Empfindlichkeit und das Rückstellsignal werden durch einen Addierer 22 zu einem einzigen Signal zusammengesetzt und bilden das Eingangssignal eines regelbaren Verstärkers 18, welcher dieses Signal mit einem als Verstärkungsfaktor dienenden Ausgangssignal des Verstärkungsfilters 17 verstärkt. Das dadurch erhaltene Ausgangssignal des regelbaren Verstärkers 18 dient wiederum zur Ansteuerung des Phasenmodulators 7.

[0018] Der vom Stand der Technik abweichende und gemäß der Erfindung modifizierte Teil des Interferometers ist mit der Bezugsziffer 40 gekennzeichnet.

[0019] Die Anordnung 40 mit einer zusätzlichen, variablen Messstrecke, definiert durch den doppelten Abstand 23 zwischen einem Messobjekt 25 und einem Referenzpunkt 27 des Sagnac-Interferometers 30, ist dadurch gebildet, dass vorzugsweise an einem Ende der Faserspule 6 die Faser 28 unterbrochen wird (vgl. Fig. 1, 2), wobei die beiden Faserenden an der Unterbrechungsstelle jeweils mit einem Kopplungselement 24 verbunden sind, über welches die Teilstrahlen L1, L2 sowohl in den freien Raum austreten können, als auch in die Faser 28 wieder eintreten können, insofern sie von außen auf ein Kopplungselement 24 treffen. Dabei be-

stehen die Kopplungselemente vorzugsweise aus Selfoc-Linsen beziehungsweise aus Graded-Index-(GRIN)-Linsen, die einen Teilstrahl L1 bzw. L2 in ein paralleles Lichtbündel aufspalten und dieses wieder zu einem einzigen Teilstrahl L1 bzw. L2 zusammenführen. In diesem Beispiel ist der Referenzpunkt 27 der Ort der Kopplungselemente 24. Werden die beiden Kopplungselemente 24 so justiert, dass sie parallel nebeneinander liegen, so kann der Teilstrahl L1, L2, welcher aus einem Kopplungselement 24 austritt, die halbe Messstrecke bis zum Messobjekt 25 zurücklegen, von welchem er so reflektiert wird, dass er auf das andere Kopplungselement 24 auftrifft, und über dieses wieder in die Faser 28 eintritt. Dieser Prozess funktioniert genauso in umgekehrter Richtung.

[0020] Dadurch, dass die variable Messstrecke in den durch die gegenläufigen, vom Strahlteiler 4 ausgehenden Teilstrahlen L1, L2 bestimmten Lichtweg des festen Lichtweganteils asymmetrisch integriert ist, indem sie vorzugsweise an einem Ende der Faserspule 6 positioniert ist, wird die Messstrecke zu unterschiedlichen Zeiten durchlaufen: Der eine Teilstrahl L1 durchläuft die Faserspule 6 vor Durchlaufen der Messstrecke, der andere Teilstrahl L2 nach Durchlaufen der Messstrecke. Wenn sich das Messobjekt 25 nun bewegt, so legt der eine der beiden durch den Strahlteiler 4 erzeugten Teilstrahlen L1, L2 einen längeren Lichtweg zurück, was zu einer beobachtbaren Phasenverschiebung am Detektor 9 führt. Bewegt sich das Messobjekt 25 nicht, so durchlaufen die beiden Teilstrahlen L1, L2 dieselbe Messstrecke, es kommt somit zu keiner Phasenverschiebung.

[0021] Zur Bestimmung einer Umlauf-Frequenz f des Lichts von der Lichtquelle 1 bis zum Detektor 9 ist in der Auswerteeinheit 26 eine Einrichtung 31 vorgesehen. Aus der Umlauf-Frequenz f ist der Absolutabstand 23 errechenbar.

[0022] Um den Einfluss eventueller, unerwünschter Bewegungen, insbesondere aufgrund einer eventuellen Drehbewegung des Sagnac-Interferometers 30 möglichst gering zu halten, ist die Faserspule 6 vorzugsweise so gestaltet, dass sie keine effektive Fläche umspannt, was beispielsweise durch eine bifilare Wicklung der Faserspule 6 erreicht wird. Eine solche Wicklung ist in Fig. 3 gezeigt. Dabei ist ein Umkehrpunkt 32 der Faserspule vorzugsweise so gelegt, dass die Teilstrahlen innerhalb der Faserspule 6 zweimal annähernd denselben geometrischen Weg durchlaufen, wobei die beiden Durchläufe in zueinander entgegengesetzten Richtungen erfolgen. Damit heben sich aufgrund des Sagnac-Effektes bewirkte Phasenverschiebungen auf.

[0023] Das reflektierende Messobjekt 25 kann beispielsweise aus zwei gegeneinander verkippten Spiegeln 29 bestehen, die einen zu den Kopplungselementen 24 hingesehen spitzen Winkel bilden, und deren Schnittlinie mittig zwischen beiden Kopplungselementen 24 liegt. Ein weiteres Beispiel für ein reflektierendes Messobjekt 25 ist ein Prisma.

[0024] Das Funktionsprinzip der Erfindung wird nachfolgend erläutert:

Sagnac-Interferometer der beschriebenen Art dienen – wie erwähnt – normalerweise der Messung von Drehungen. Diese werden über Phasenverschiebungen, welche die gegenläufigen Teilstrahlen durch Drehung der Faserspule 6 und des dadurch auftretenden Sagnac-Effekts erfahren, festgestellt. Parasitäre Phasenverschiebungen können außerdem durch Störeffekte wie Temperaturschwankungen im Faser- und Einbettmaterial der Faserspule 6, bekannt als Shupe-Effekt, bzw. Streueffekte an Störzentren, wie beispielsweise der Lichtquelle 1, an Spleißen und dergleichen, entstehen. Werden diese Störeffekte eliminiert, so hängen die am Detektor 9 beobachteten Phasenverschiebungen nur von den

Drehungen der Spule 6 des Sagnac-Interferometers 30 um ihre Achse ab. Dabei ist der Lichtweg, also der Weg, den das Licht von der Lichtquelle 1 bis zum Detektor 9 zurücklegt, bekannt.

[0025] Ein wesentlicher Grundgedanke der Erfindung ist es, durch eine zeitlich konstante räumliche Ausrichtung der Faserspule 6 des Sagnac-Interferometers 30 oder andere konstruktive Maßnahmen mögliche Drehungen auszuschließen, dafür aber den bisher konstanten Lichtweg zu einer variablen Größe zu machen, über die sowohl Geschwindigkeits- als auch Abstandsmessungen vorgenommen werden können. Dies wird dadurch realisiert, dass dem bisherigen, konstanten Lichtweg (fester Lichtweganteil) ein variabler Lichtweganteil in Form einer zusätzlichen, variablen Messstrecke hinzugefügt wird. Wenn die variable Messstrecke derart in den festen Lichtweganteil integriert wird, dass die beiden durch den Strahlteiler 4 erzeugten Teilstrahlen diese zu jeweils unterschiedlichen Zeiten durchlaufen, können Änderungen der Messstrecke in Form von Phasenverschiebungen am Detektor 9 registriert werden. Repräsentiert die Messstrecke vorzugsweise einen Abstand 23 zwischen dem Sagnac-Interferometer 30 und einem Messobjekt 25, dessen Differenzgeschwindigkeit bezüglich des Sagnac-Interferometers 30 gemessen werden soll, so können aufgrund der Bewegung des Messobjektes 25 und der daraus resultierenden Änderung der Messstrecke Phasenverschiebungen am Detektor 9 beobachtet werden.

[0026] Dies setzt, wie schon erwähnt, voraus, dass alle anderen Effekte, die auch zu einer Phasenverschiebung führen, wie z. B. Drehung des Sagnac-Interferometers 30 oder Störeffekte, durch entsprechende Maßnahmen weitestgehend ausgeschaltet sind.

[0027] Im Folgenden wird eine mathematische Beziehung zwischen der Differenzgeschwindigkeit des Messobjektes 25 und der dadurch hervorgerufenen Phasenverschiebung am Detektor 9 hergeleitet.

[0028] Dazu sei, wie in Fig. 2 gezeigt, angenommen, dass die Messstrecke durch den doppelten Abstand 23 zwischen der momentanen örtlichen Position eines sich bewegenden Messobjektes 25 und einem Referenzpunkt 27 des Sagnac-Interferometers 30 definiert ist. Der Referenzpunkt 27 ist vorzugsweise der Ort, an dem das Licht von dem festen Lichtweganteil in den variablen Lichtweganteil, die Messstrecke, wechselt. Die beiden gegenläufigen Teilstrahlen L1, L2 durchlaufen diesen Abstand 23 zeitversetzt, werden an dem Messobjekt 25 reflektiert und laufen nach der Reflexion den gleichen Abstand 23 wieder zurück.

[0029] Der allgemeine Zusammenhang zwischen einer Phasendifferenz $\Delta\Phi$ und einer Wegdifferenz Δs lässt sich definieren zu

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta s$$

[0030] Dabei ist λ die Wellenlänge des von der Lichtquelle 1 ausgesandten Lichtes. Die beiden Teilstrahlen L1, L2 durchlaufen die Messstrecke zu unterschiedlichen Zeiten. Die Differenz dieser beiden Zeitpunkte sei ΔT . Aufgrund der Zeitdifferenz ΔT hat sich das mit der Geschwindigkeit v bewegende, reflektierende Messobjekt 25 um den Weg $\Delta T \cdot v$ weiterbewegt. Der Abstand 23 hat sich also inzwischen (zum Beispiel) vergrößert. Somit ergibt sich

$$\Delta\Phi = 2 \frac{2\pi}{\lambda} \Delta T v$$

[0031] Ist die Messstrecke beispielsweise an einem Ende der Faserspule 6 in den Lichtweg des Sagnac-Interferometers 30 integriert, so bestimmt die Lichtlaufzeit in der Faserspule 6 die Zeitdifferenz ΔT . In diesem Falle lässt sich ΔT

darstellen als

$$\Delta T = \frac{n_1 L}{c}$$

[0032] Hierbei ist n_1 der Brechungsindex des Fasermaterials der Faserspule 6, L die Länge der Faserspule 6 und c die Lichtgeschwindigkeit. Daraus ergibt sich eine Phasenverschiebung von:

$$\Delta\Phi = 2 \frac{2\pi}{\lambda} n_1 L \frac{v}{c}$$

[0033] Der Skalenfaktor S , definiert durch

$$\Delta\Phi = S \cdot v,$$

ergibt sich damit zu

$$S = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 L \frac{1}{c}.$$

[0034] Somit kann die Differenzgeschwindigkeit des reflektierenden Messobjektes 25 direkt aus der beobachteten Phasenverschiebung errechnet werden.

[0035] Das durch den digitalen Rampengenerator 21 erzeugte Rückstellsignal ist proportional zur Differenzgeschwindigkeit des Messobjektes 25. Ein großer Vorteil dieser Art von Differenzgeschwindigkeitsmessverfahren ist, dass die Differenzgeschwindigkeit direkt aus dem Interferenzbild "abgelesen" werden kann.

[0036] Die Messgenauigkeit für die Differenzgeschwindigkeit des reflektierenden Messobjektes 25 ist sehr hoch. Hierzu ein Zahlenbeispiel:

Bei einer Faserspulenlänge von 500 Metern ergibt sich ein Skalenfaktor S von $18 \mu\text{rad}/(\mu\text{m/s})$. Daraus errechnet sich bei einer angenommenen Nullpunktungenauigkeit von $1 \mu\text{rad}$ eine Genauigkeit von $200 \mu\text{m/h}$. Bei einer Faserspulenlänge von 50 Metern ergibt sich eine Genauigkeit von 2 mm/h .

[0037] Ein besonderer Vorteil der Erfindung ist, dass das einzusetzende Sagnac-Interferometer zur Erzeugung von Interferenz lediglich eine kurzkohärente und damit billige Lichtquelle benötigt. Übliche Verfahren zur interferometrischen Messung des Abstands beziehungsweise der Differenzgeschwindigkeit verlangen langkohärentes Licht, da sonst aufgrund der großen Laufzeitdifferenz des Messstrahlanteils und des Referenzstrahlanteils keine Interferenz möglich ist. Dies macht resonanzstabilisierte Laserlichtquellen nötig, die technisch sehr aufwändig sind.

[0038] Der Anwendungsbereich der Erfindung ist vielfältig, mögliche Anwendungsbeispiele sind Messungen von Kleinstabständen/-geschwindigkeiten (z. B. Laborjustierung), sowie Teleskopstellungen.

[0039] Der in der Zeitdifferenz ΔT zurückgelegte Weg 23 des sich bewegenden Messobjektes 25, also die Änderung des Absolutabstandes, lässt sich aus der Integration der durch das Interferenzbild gewonnenen Geschwindigkeitswerte v über die Zeit ΔT ermitteln.

[0040] Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist, dass absolute Abstandsmessungen durchgeführt werden können, ohne dass etwas am bisher beschriebenen Verfahren geändert werden muss. Als Absolutabstand wird hier der Abstand 23 zwischen einem Referenzpunkt 27 des Sagnac-Interferometers 30 und dem Messobjekt 25, also die Hälfte der Messstrecke, verstanden.

[0041] Die Abstandsmessung wird vorzugsweise durch Messung des gesamten Lichtweges des Sagnac-Interferometers 30, also der Summe aus festem Lichtweganteil und variabler Messstrecke, erreicht. Ist der gesamte Lichtweg des Sagnac-Interferometers 30 gemessen und der feste

Lichtweganteil bekannt, so kann beispielsweise nach einer Formel, die im Folgenden unter Zuhilfenahme der Fig. 2 hergeleitet wird, die exakte örtliche Position des reflektierenden Messobjektes 25 errechnet werden.

[0042] Die Laufzeit t_1 eines Teillichtstrahles L1, L2 in der Faserspule 6 beträgt

$$t_1 = \frac{n_1 L}{c}$$

[0043] Hierbei ist n_1 der Brechungsindex der optischen Faser des festen Lichtweganteils, der vorzugsweise durch Luft verläuft.

[0044] Die benötigte Zeit t_2 eines Teillichtstrahles L1, L2 zum Durchlaufen der Messstrecke beträgt

$$t_2 = \frac{2n_2 A}{c}$$

wobei A den zu messenden Abstand 23 und n_2 den Brechungsindex des Mediums, in dem die Messstrecke verläuft, definieren. Beispiele hierfür sind Luft oder Vakuum. Aus obigen Gleichungen ergibt sich für die Umlauf-Frequenz f bezüglich des gesamten Lichtweges, den das Licht von der Lichtquelle 1 bis zum Detektor 9 zurücklegt:

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{c}{n_1 L + 2n_2 A}$$

[0045] Somit kann über die Bestimmung der Durchlaufzeit, die das Licht benötigt, um von der Lichtquelle 1 bis zum Detektor 9 zu kommen, d. h. über eine Frequenznachführung zur Bestimmung von f , der Absolutabstand (A) 23 zwischen dem reflektierenden Messobjekt 25 und dem Referenzpunkt 27 des Sagnac-Interferometers 30, der die momentane Größe der Messstrecke darstellt, bestimmt werden.

[0046] Damit ist es möglich, Absolutabstandsmessungen alternativ oder gleichzeitig zu den Differenzgeschwindigkeitsmessungen durchzuführen.

[0047] Der Erfindungsgedanke wurde in Anwendung auf ein faseroptisches Sagnac-Interferometer in Closed-Loop-Aufbau beschrieben. Eine Realisierung ist für den Fachmann ersichtlich – auch in Open-Loop-Technik möglich, sofern geringere Genauigkeitsanforderungen eine solche insgesamt kostengünstigere Lösung zulassen.

Patentsprüche

1. Verfahren zur optischen Messung der Geschwindigkeit und/oder des Abstandes eines Messobjektes (25), bei dem zwei durch Teilung eines Lichtstrahls erzeugte Teilstrahlen (L1, L2), die gegenläufig eine Faserspule (6) eines faseroptischen Sagnac-Interferometers (30) durchsetzen, zeitversetzt über eine gegebenenfalls zeitlich variable Messstrecke geführt werden, die aus einem Hin- und Rückweg (23) zwischen einem Referenzpunkt (27) des Sagnac-Interferometers und dem Messobjekt (25) besteht, wobei die bei zeitlicher Änderung der Messstrecke entstehende entsprechende Phasenverschiebung beider Teilstrahlen (L1, L2) gegeneinander nach Wiedervereinigung und Interferenz beider Teilstrahlen (L1, L2) durch eine Auswerteeinheit (26) des Interferometers gemessen und daraus eine Änderungsgeschwindigkeit der Messstrecke, die einer Differenzgeschwindigkeit entspricht, errechnet wird, und/oder wobei die Laufzeit, die die Teilstrahlen (L1, L2) zum Zurücklegen der Messstrecke benötigen, gemessen und darauf basierend mittels der Auswerteeinheit (26) die momentane Größe der Messstrecke, die einem Absolut-Abstand (23) entspricht, ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Änderung der Messstrecke durch Integration von ermittelten Differenzgeschwindigkeitswerten errechnet wird.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitversetzung, mit welcher die beiden Teilstrahlen (L1, L2) die Messstrecke durchlaufen, dadurch erzeugt wird, dass der eine Teilstrahl (L1) vor Durchlaufen der Messstrecke zunächst die Faserspule (6), und der andere Teilstrahl (L2) diese erst nach Durchlaufen der Messstrecke durchläuft.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilstrahlen (L1, L2) durch eine gegen relative Drehbewegungen hinsichtlich einer gegenseitigen Phasenverschiebung der beiden Teilstrahlen unempfindliche Faserspule (6) geführt werden.

5. Vorrichtung zur optischen Messung insbesondere einer Geschwindigkeit und/oder eines Abstandes mit einem faseroptischen Sagnac-Interferometer (30), bei dem in den eine Faserspule (6), einen Phasenmodulator (7) und einen Strahlteiler (4) umfassenden Teil eine den zu messenden Abstand (23) repräsentierende Messstrecke als Teil des Weges integriert ist, den das Licht, ausgehend von einer Lichtquelle (1), ab dem ersten Durchgang durch den Strahlteiler (4) bis zum zweiten Durchgang durch den Strahlteiler (4) zurücklegt, wobei die Messstrecke im durch die gegenläufigen, vom Strahlteiler (4) ausgehenden Teilstrahlen (L1, L2) bestimmten Lichtweg derart örtlich positioniert ist, dass die gegenläufigen Teilstrahlen (L1, L2) die Messstrecke zu unterschiedlichen Zeiten durchlaufen, und die Messstrecke durch den doppelten Abstand (23) zwischen einem sich relativ zu einem Referenzpunkt des Sagnac-Interferometers (30) ruhenden oder sich bewegenden Messobjekt (25) und dem Referenzpunkt (27) des Sagnac-Interferometers (30) gebildet ist, und mit einer Auswerteeinheit (26), die die Phasenverschiebung der beiden Teilstrahlen gegeneinander und/oder die zum Zurücklegen der Messstrecke benötigte Laufzeit der Teilstrahlen misst und darauf basierend die Änderungsgeschwindigkeit der Messstrecke und/oder die momentane Größe der Messstrecke bestimmt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Messstrecke an einem Ende der Faserspule (6) in den die Faser (28) durchsetzenden Lichtweg integriert ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Integration der Messstrecke dadurch realisiert ist, dass die Faser (28) an einem Ende der Faserspule (6) unterbrochen ist, so dass die in der Faserspule (6) laufenden Teilstrahlen (L1, L2) in den freien Raum austreten, den Hin- und Rückweg (23) der Messstrecke zurücklegen, und wieder in die Faser (28) eintreten.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Sagnac-Interferometer (30) über einen geschlossenen Regelkreis (26) zur Kompensation einer Phasenverschiebung verfügt.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Faserspule (6) so gewickelt ist, dass sie hinsichtlich des Sagnac-Effekts keine effektive Fläche umspannt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Faserspule (6) bifilar gewickelt ist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass Selfoc-Linsen oder Gra-

ded-Index (GRIN)-Linsen als Kopplungselemente (24)
vorgesehen sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

